

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 23320061152606

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于嵌入式智能监控系统的人脸识别研究

Research of Face Recognition Based on Embedded
Intelligent Monitoring System

黄 玲 珠

指导教师姓名: 陈辉煌 教 授

石江宏 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 6 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2009 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

自动人脸识别技术涉及图像处理、模式识别、计算机视觉、神经网络等多门学科，是一个富有挑战性的课题。嵌入式智能监控的人脸识别研究是建立在嵌入式操作系统和嵌入式硬件平台之上的，具有起点高、概念新、实用性强等特点。

在实际监控中，人脸识别会受到光照、姿态变化等影响，目前识别精度和识别速率仍难以满足人们的预期要求。本文深入研究了嵌入式智能监控系统中鲁棒的人脸特征描述和高效的人脸识别核心算法。

首先，介绍了嵌入式 Linux 操作系统和 GM8180 硬件平台架构，探讨了嵌入式人脸识别系统设计中的关键问题；由于嵌入式硬件资源受限，不能只注重高识别率，还需要考虑算法复杂度，因此本文采用复杂度较低且具有线性降维的 EPL 算法作为嵌入式人脸识别的核心算法。

其次，从 Gabor 小波的生物学背景出发，由于参数化的 Gabor 小波与简单细胞的感受野模型有着良好的匹配，因此引入 Gabor 小波表征人脸，将变换后的向量视为独立的样本，增加样本个数，同时对 Gabor 小波去冗余以保证识别速率。

最后，在前述算法的基础上构建自动人脸识别系统，加入了直方图均衡化对图像作预处理，设计了互子空间夹角余弦分类器；并在此系统上，采用快速 PCA 算法和浮点定点化方法对人脸识别速度进行优化。

本文将局部 Gabor 小波用于人脸表征，仿真结果表明，基于局部 Gabor 小波的 EPL 算法优于直接的 EPL 算法，在小样本和维数较少时，识别率可以达到 95%；将固定点算法和 Gram-Schmidt 正交化用于快速 PCA 算法，以及采用浮点转定点的方法，可以达到有效提高识别速度的目的，其训练过程和识别过程的加速比分别为 8.86 和 4.25。因此本文所提出的人脸识别方法不仅具有一定的理论参考价值，而且对于嵌入式系统应用开发、AFR 应用系统开发也具有一定的借鉴意义。

关键词：智能监控；人脸识别系统；嵌入式 Linux

Abstract

Automatic face recognition (AFR) technology is a challenging task. It involves image processing, pattern recognition, computer vision, neural network and other subjects. The research of the embedded face recognition based on intelligent monitoring system is built on the embedded operating system and embedded hardware platform with characteristics of high starting point, new concept and practical.

In monitoring, face recognition will be affected by light and gesture. The recognition accuracy and recognition speed is still difficult to meet people's expectations. This paper is looking into the robust facial feature description and efficient face recognition algorithm on embedded intelligent monitoring system.

Firstly, introduce the embedded Linux operating system and GM8180 platform architecture. Explore key issues in the design of embedded face recognition system. As a result of embedded resource-constrained, it is not only need to consider the high recognition rate, but also the algorithm complexity. We select EPL as the embedded face recognition algorithm which has a lower complexity and linear dimensionality reduction.

Secondly, as the parametric Gabor wavelet has a good match with the simple cell receptive field model, we use Gabor wavelet to represent faces. Consider transformed vectors as independent samples can increase the number of samples. We also remove the duplication of the Gabor wavelet to ensure the recognition rate.

Finally, build AFR system based on the foregoing algorithm with the histogram equalization and the classifier of cosine angle between each subspace. Then in this system, fast PCA algorithm and floating-point to fixed-point method is used to optimize the speed of face recognition.

In this paper, we use local Gabor wavelet to represent faces. The experimental result shows that the EPL algorithm based on local Gabor wavelet is better than the directly EPL algorithm. In small samples and small dimensions, the recognition rate

can reach 95%. What's more, fast PCA algorithm and floating-point to fixed-point method can improve the recognition speed. The speedup of training process and identification process is 4.93 and 2.55, respectively. The propose face recognition method not only has a theoretical value, but also has a reference significance for the application development of embedded system and AFR system.

Key Words: Intelligent Monitoring; Face Recognition System; Embedded Linux

目录

第 1 章	绪论.....	1
1.1	研究的背景和意义.....	1
1.2	国内外研究现状.....	2
1.2.1	智能监控系统国内外研究现状.....	2
1.2.2	自动人脸识别国内外研究现状.....	3
1.3	本文主要工作.....	4
1.4	本文组织结构.....	5
第 2 章	嵌入式人脸识别系统.....	6
2.1	引言.....	6
2.2	嵌入式操作系统.....	6
2.2.1	嵌入式操作系统的特点.....	7
2.2.2	嵌入式 Linux 操作系统.....	8
2.3	智能监控硬件平台.....	9
2.3.1	GM8180 监控开发平台.....	10
2.3.2	成像设备.....	11
2.4	软件开发工具.....	12
2.4.1	OpenCV 概述.....	12
2.4.2	OpenCV 函数库.....	13
2.5	系统设计的关键问题.....	14
2.5.1	核心算法的选择.....	15
2.5.2	训练集的构建.....	16
2.5.3	工作环境的要求.....	16
2.6	本章小结.....	17
第 3 章	核心算法选择.....	18
3.1	引言.....	18
3.2	基于全局特征的 Fisherface 算法.....	18
3.2.1	主成分分析法 (PCA).....	18
3.2.2	线性判别分析法 (LDA).....	19
3.2.3	混合 PCA 和 LDA 算法.....	21
3.3	基于局部特征的 EBGMM 算法.....	22
3.3.1	Gabor 核函数.....	22
3.3.2	弹性图结构.....	23
3.3.3	相似度量.....	24
3.4	算法比较.....	25
3.5	本章小结.....	27
第 4 章	基于 Gabor 小波的 EPL 算法.....	28

4.1	引言	28
4.2	生物学背景	28
4.3	Gabor 小波	30
4.3.1	小波变换	30
4.3.2	一维 Gabor 小波	30
4.3.3	二维 Gabor 小波	31
4.4	基于 Gabor 小波的 EPL 算法	34
4.4.1	Gabor 小波的人脸表征	35
4.4.2	局部 Gabor 小波	35
4.4.3	实验结果	35
4.5	本章小结	37
第 5 章	人脸识别系统构建与优化	38
5.1	引言	38
5.2	人脸识别系统构建	38
5.2.1	人脸识别框架	39
5.2.2	图像预处理	40
5.2.3	分类器设计	41
5.2.4	系统实现	43
5.3	人脸识别算法优化	45
5.3.1	分析工具 Gprof	45
5.3.2	性能瓶颈分析	46
5.3.3	PCA 算法优化	47
5.3.4	浮点转定点	51
5.3.5	实验结果	51
5.4	本章小结	53
第 6 章	总结与展望	54
参考文献	56
硕士期间发表论文	60
致谢	61

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background and Significance.....	1
1.2 Research Status.....	2
1.2.1 Research Status of Intelligent Monitoring	2
1.2.2 Research Status of Automatic Face Recognition	3
1.3 The Main Work of Paper	4
1.4 Structure.....	5
Chapter 2 Embedded Face Recognition System	6
2.1 Introduction	6
2.2 Embedded Operating System.....	6
2.2.1 Characteristics of Embedded Operating System.....	7
2.2.2 Embedded Linux Operating System	8
2.3 Hardware Platform of Intelligent Monitor	9
2.3.1 GM8180 Monitoring Development Platform	10
2.3.2 Introduction of Imaging Device.....	11
2.4 Software Developer Kit	12
2.4.1 Summary of OpenCV	12
2.4.2 OpenCV Library Functions.....	13
2.5 Key problems of System Design	14
2.5.1 Choice of Core Algorithm.....	15
2.5.2 Training Set Build.....	16
2.5.3 System Working Condition.....	16
2.6 Brief Summary.....	17
Chapter 3 Choice of Core Algorithm	18
3.1 Introduction	18
3.2 Fisherface Based on Global Feature	18
3.2.1 Principal Component Analysis(PCA)	18
3.2.2 Linear Discriminant Analysis(LDA).....	19
3.2.3 Combined PCA and LDA	21
3.3 EBGGM Based on Local Feature.....	22
3.3.1 Gabor Core Function.....	22
3.3.2 Elastic Bunch Graph Structure.....	23
3.3.3 Similarity Metric	24
3.4 Algorithms Comparison.....	25
3.5 Brief Summary.....	27
Chapter 4 EPL Algorithm Based on Gabor Wavelet.....	28
4.1 Introduction	28

4.2	Biological Background	28
4.3	Gabor Wavelet	30
4.3.1	Wavelet Transform	30
4.3.2	One-dimensional Gabor Wavelet	30
4.3.3	Two-dimensional Gabor Wavelet	31
4.4	EPL Algorithm Based on Gabor Wavelet.....	34
4.4.1	Face Representation Using Gabor Wavelet.....	35
4.4.2	Local Gabor Wavelet.....	35
4.4.3	Experimental Result.....	35
4.5	Brief Summary.....	37
Chapter 5 Face Recognition System Build and Optimization.....		38
5.1	Introduction	38
5.2	Face Recognition System Build	38
5.2.1	Framework of Face Recognition.....	39
5.2.2	Image Preprocessing	40
5.2.3	Categorizer Design.....	41
5.2.4	System Implement	43
5.3	Face Recognition System Optimization.....	45
5.3.1	Analysis Tool Gprof.....	45
5.3.2	Performance Bottleneck.....	46
5.3.3	Improved PCA Algorithm.....	47
5.3.4	Change floating point to fixed point	51
5.3.5	Experimental Result.....	51
5.4	Brief Summary.....	53
Chapter 6 Conclusions and Outlooks		54
References		56
Published Papers.....		60
Acknowledgement.....		61

厦门大学博硕士论文摘要库

第1章 绪论

1.1 研究的背景和意义

嵌入式人脸识别系统是建立在嵌入式系统平台上的，涉及嵌入式硬件设计、嵌入式操作系统应用开发、人脸识别算法等各个领域的研究，而且嵌入式人脸识别系统携带方便、安装简单、机动性强，可以广泛应用于门禁系统、智能小区、户外非布控点罪犯抓捕等特殊场合，因此对嵌入式人脸识别的研究具有很强的现实意义和应用前景。

现代社会是一个人口密集、高度复杂的社会，面临的突发事件和异常事件越来越多，由于人工本身固有的不足，人力越来越难以胜任分析和理解采集到的数量惊人的视频数据。而监控系统中的自动人脸识别（AFR）技术是采用计算机视觉的方法，在几乎不需要人为干预的情况下，通过对拍录的图像序列进行自动分析来对动态场景中的人脸目标进行定位、识别和跟踪，并在此基础上分析和判断目标的行为，从而做到既能完成日常管理又能在异常情况发生时及时做出反应。

但是，由于图像采集条件和人脸自身属性的变化，例如图像采集时的光照、视角的变化，人脸的表情、姿态变化等，都可能使得同一人的不同照片表观差别很大，造成识别上的困难。因此，仅仅采用一种现有方法难以取得良好的识别效果，如何与其他技术相结合，如何提高识别率和识别速度，减少计算量，提高鲁棒性，如何采用嵌入式及硬件实现，如何实用化都是嵌入式人脸识别系统中值得研究的。

虽然目前人脸识别大多数是基于PC机方案，但是嵌入式方案以其小巧紧凑，无需配套独立电脑设备，可降低系统的总体架设成本；功能单一，结构相对简单，便于长期无间断工作；并维护较简易，可降低维护费用等优点，尤其适用于与生活息息相关的场景，使智能监控更加贴近生活，消除社会的安全隐患。同时，近年来嵌入式的开发环境不断完善，嵌入式系统的核心处理能力不断提升，更是为人脸识别系统从电脑联机向嵌入式脱机扩展创造了理想的硬件环境。

综上所述，基于嵌入式智能监控的人脸识别研究作为一个富有挑战性的研究方向，具有重要的理论研究意义和实用价值。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 智能监控系统国内外研究现状

智能监控以数字化、网络化的视频监控为基础，但又有别于一般的网络化视频监控，它是利用计算机视觉技术自动分析和抽取视频源中的关键信息。智能监控基于标准的TCP/IP协议。最早出现于2001年^[1]，能够通过局域网、无线网、互联网传输；采用开放式架构，可与门禁、报警、巡更、语音等系统无缝集成；基于嵌入式技术，性能稳定，无需专人管理；灵活性大大提高，监控场景可以实现任意组合，任意调用。在智能化方面，试图利用计算机视觉技术对摄像机采集的视频信息进行分析、理解和处理，将无关的信息滤除，只将提取出的有用的信息报告给监控人员进行处理，从而实现预警、防范和主动监测的功能，以达到代替人完成监控任务的目的。

近年来，智能视觉监控越来越受到国内外很多学者的密切关注。国际上，一些权威期刊，如 IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, International Journal of Computer Vision、Computer Vision and Image Understanding、Image and Vision Computing 等相继出版了关于智能视觉监控的专刊；一些重要的学术会议，如：ICCV, CVPR, ICPR, ECCV 等，也将智能监控中的运动分析和行为理解作为主题内容之一；美国、英国等国也将智能视觉监控列为重大发展项目。中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室从 20 世纪 90 年代初就开始研究基于三维模型的智能视觉监控系统，取得了一系列的成果。

但是智能监控在自动人脸识别方面的研究却很少，主要集中于自动识别人物脸部特征并与数据库进行比较以验证人物身份方面。此类应用可以细分为“合作型”和“非合作型”两大类，“合作型”应用需要被监控者在摄像头前停留一段时间，通常与门禁系统配合使用。“非合作型”则可以在人群中识别出特定的个体。本文主要研究的是“合作型”的自动人脸识别，可应用于嵌入式门禁监控系统中，需要用户配合，存储的人脸数据库相对较小。

1.2.2 自动人脸识别国内外研究现状

自动人脸识别的研究已有很长的历史。自上世纪 90 年代后,自动人脸识别研究越来越受到国内外学者的广泛关注,积累了大量的研究成果,提出了许多人脸识别技术方法。按照人脸识别的研究内容、技术方法等方面的特点,AFR 可以大致划分为三个时间阶段:

第一阶段从 1964 年到 1990 年,以 Bledsoe^[2], Kelly, Kanade^[3]等为代表,主要采取的技术是将人脸识别看成是一个二维模式识别问题。这一阶段人们主要采用人脸或剪影几何结构特征,如 Goldstein^[4]等提出用几何特征参数表示二维人脸图像;Kanade^[3]博士于 1973 年在京都大学完成了第一篇 AFR 方面的博士论文,他在博士论文中设计了一个半自动人脸回溯识别系统,运用积分投影法从单幅人脸图像上计算出面部特征参数,以完成人脸匹配;而 Baron^[5]则采用 4 个掩模表示人脸,包括人眼、鼻子、嘴及眉毛以下的整个人脸。

总的来说,这一阶段是自动人脸识别研究的初级阶段,需要利用某些人脸的先验知识,不能摆脱人工干预,因而没有出现实用的自动人脸识别系统。

第二阶段从 1990 年到 1997 年,以 Kirby, Sirovich^[6], Turk, Pentland^[7], Belhumer^[8]等为代表。这一阶段可谓是人脸识别研究的高潮期,在短短的 7 年时间内涌现了一些具有代表性的人脸识别核心算法,基于线性子空间分析法、统计模式识别法是这一阶段的典型代表。

Kirby 和 Sirovich^[6]提出的 K-L 变换奠定了基于模板的主成分分析法 (PCA) 的基础,实现了人脸图像特征降维的最优变换;Turk 和 Pentland^[7]在 Kirby 的基础上于 1991 年提出了特征脸“Eigenfaces”方法;Brunelli^[9]等就基于几何特征和基于模板的方法进行了对比分析,通过对比发现:基于模板的方法优于基于几何特征的方法,从而在很大程度上促进了人脸线性子空间法和统计模式识别法的发展。

Belhumer^[8]等人提出的 Fisherface 人脸识别方法是这一时期的另一个重要成果,该方法在主成分分析法的基础上采用线性判别分析 (Linear Discriminant Analysis, 简称 LDA) 以获得尽可能小的类内离散度和尽可能大的类间离散度。目前这种方法仍然是人脸识别领域的主流方法之一,并产生了很多不同的变种,如零空间法^[10]、子空间判别模型^[11,12]、增强判别模型^[13]、直接 LDA 判别法^[14],

以及一些基于核学习的改进策略^[15,16]。除了上述介绍的两种方法之外,一些基于特征的弹性束图匹配方法(Elastic Bunch Graph Matching, 简称 EBGM)^[17,18]、局部特征分析法(Local Feature Analysis, 简称 LFA)^[19]、柔性变形模型(Flexible Model)^[20,21]等人脸识别算法也相继被提出。

第三阶段从 1998 年至今,属于真正的自动人脸识别阶段。受 FERET 对于第二阶段所提算法的测试结果的启发,人脸识别问题集中到了光照、姿态对核心算法性能的影响。提出的代表性算法和模型有光照锥模型^[22,23]、3D 变形模型^[24,25]和支持向量机^[26-28]的分类器设计模型,同时推出了若干自动人脸识别的商业系统,进一步规范了人脸识别系统性能评测标准,总结了人脸识别技术的发展现状并进一步指出了目前人脸识别算法存在的不足。

总之,人脸识别是一个富有挑战性的前沿课题,但目前人脸识别还只是作为研究课题,进入实用化领域的应用研究还比较少。就目前而言,其技术主要还是集中在 PC 机上的人脸识别研究,嵌入式人脸识别研究的相关论文非常少,主要是受嵌入式硬件的限制,但是随着嵌入式微处理器和嵌入式操作系统的性能不断提升,基于嵌入式的人脸识别将成为模式识别领域的研究热点。

1.3 本文主要工作

论文主要是针对嵌入式智能监控系统中的人脸识别算法进行研究。

首先,介绍了本文所使用的嵌入式 Linux 操作系统、GM8180 智能监控的硬件平台和软件开发工具 OpenCV;探讨了嵌入式人脸识别系统设计中的关键问题;由于嵌入式微处理器速度和内存空间受限,不能只追求高识别率,还需要考虑算法复杂度,因此我们从这两方面出发,对两种经典的人脸识别算法进行比较,采用了算法复杂度较低且具有线性降维的 PCA+LDA 方法作为嵌入式人脸识别的核心算法(即 EPL 算法);并采用了局部 Gabor 小波变换来有效表征人脸。

其次,在前述的核心算法基础上构建自动人脸识别系统,加入了直方图均衡化,采用了互子空间夹角余弦分类器代替常用的欧氏距离分类器;并在构建的系统上分析核心算法的性能瓶颈;针对 PCA 算法中的矩阵运算部分进行改进,以达到降低算法复杂度的目的;最后实验结果证明所使用的优化方法具有比原 PCA 算法更好的识别速度,为将来的研究工作奠定了一定的基础。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库